

УДК 691.392

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.246421

## Розробка методу оцінки стану об'єкту в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень

Ю. В. Журавський, О. Я. Сова, С. О. Коробченко, В. А. Багінський,  
Ю. В. Цімура, Л. В. Колодійчук, П. В. Хоменко, Н. П. Гаращук,  
О. О. Оробінська, А. В. Шишацький

*Точний та об'єктивний аналіз об'єкту вимагає багатопараметричної оцінки зі значними обчислювальними витратами. Запропоновано методичний підхід для підвищення точності оцінювання стану об'єкту моніторингу. Зазначений методичний підхід заснований на поєднанні нечітких когнітивних моделей, удосконаленого генетичного алгоритму та штучних нейронних мереж, що еволюціонують. Методичний підхід має наступну послідовність дій: побудова нечіткої когнітивної моделі; корегування нечіткої когнітивної моделі та навчання баз знань. Відмінні риси методичного підходу полягають в тому, що на при побудові стану об'єкту моніторингу за допомогою нечітких когнітивних моделей враховується тип невизначеності та зашумленості даних. При корегуванні нечітких когнітивних моделей за допомогою генетичного алгоритму новизною є: врахування типу невизначеності даних; врахування пристосованості особин на ітерації; тривалості існування особин та топології нечіткої когнітивної моделі. Удосконалений генетичний алгоритм підвищує оперативність корегування факторів та зв'язків між ними в нечіткій когнітивній моделі. Це досягається за рахунок пошуку рішення в різних напрямках декількома особинами зі складу популяції. Процедура навчання полягає в тому, що відбувається навчання синаптичних ваг штучної нейронної мережі, типу та параметрів функції належності, а також архітектури окремих елементів і архітектури штучної нейронної мережі в цілому. Використання методу дозволяє досягти підвищення оперативності обробки даних на рівні 16–24 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур. Запропонований методичний підхід доцільно використовувати для вирішення задач оцінки складних та динамічних процесів, що характеризуються високим ступенем складності.*

*Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, штучні нейронні мережі, генетичний алгоритм, популяція.*

### 1. Вступ

Зростання обсягів інформації, що циркулює в різноманітних системах передачі інформації, призводить до значного ускладнення завдань збору, обробки та узагальнення інформації. Вирішення завдань управління неможливе без застосування інформаційно-управляючих систем. Основу будь яких сучасних інформаційно-управляючих систем становлять системи підтримки прийняття рішень (СППР). СППР використовуються при обробці великих масивів даних в

базах даних, прогнозування процесів, забезпечення інформаційної підтримки процесу прийняття рішень особами, що приймають рішення.

Інтелектуальні СППР стали природним продовженням широкого застосування СППР класичного типу за рахунок використання в них методів штучного інтелекту.

Аналіз створення інтелектуальних СППР показує, що найбільш перспективними для їх побудови є інформаційні технології, що засновані на поєднанні різних підходів [1–8]. Одним з таких підходів є поєднання апарату нейронечітких когнітивних моделей (НЧКМ), штучних нейронних мереж (ШНМ) та генетичних алгоритмів (ГА). Поєднання різноманітних підходів штучного інтелекту дозволяє мінімізувати окремі недоліки кожного з підходів, тим самим підвищити ефективність обробки даних.

Застосування еволюційних методів в порівнянні з традиційними підходами дає такі переваги:

- швидка адаптація структури моделі до предмету дослідження, що практично без будь-яких перетворень дає можливість сформувати структуру НЧКМ та ШНМ, яка відповідає цьому процесу;
- можливість проводити паралельний пошук рішення в декількох напрямках;
- уникнення проблеми попадання в пастку локального оптимуму;
- здатність працювати в умовах невизначеності, нелінійності, стохастичності та хаотичності, різного роду збурень і завад;
- мають універсальні апроксимуючі властивості та можливості нечіткого висновку;
- здатність працювати з різнорозмірними величинами.

Незважаючи на досить успішне застосування еволюційних підходів, ці системи мають ряд недоліків, пов'язаних з їхнім використанням. Серед найбільш істотних недоліків можна виділити такі:

1. Складність вибору архітектури системи.
2. Проблеми при врахуванні множини показників, що мають складну структуру взаємозв'язків, та що суперечать один одному.
3. Складність врахування опосередкованого впливу взаємозалежних компонентів в умовах невизначеності.
4. Нелінійний характер взаємовпливу об'єктів і процесів, нестохастична невизначеність, нелінійність взаємовпливу, часткової неузгодженості і суттєвою взаємозалежності компонентів.

Постає актуальне наукове завдання розробки методу оцінки в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень з використанням НЧКМ, ГА та ШНМ.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

В роботі [9] представлено алгоритм когнітивного моделювання. Визначено основні переваги когнітивних інструментів. До недоліків зазначеного підходу слід віднести відсутність врахування типу невизначеності про стан об'єкту аналізу та відсутність механізмів корекції НЧКМ.

В роботі [10] розкрито суть когнітивного моделювання та сценарного планування. Запропонована система взаємодоповнюючих принципів побудови і

реалізації сценаріїв, виділені різні підходи до побудови сценаріїв, описана процедура моделювання сценаріїв на основі нечітких когнітивних карт. Запропонований авторами підхід не дозволяє врахувати тип невизначеності про стан об'єкту аналізу та не враховує зашумленість початкових даних.

В роботі [11] проведено аналіз основних підходів до когнітивного моделювання. Когнітивний аналіз і дозволяє: дослідити проблеми з нечіткими чинниками і взаємозв'язками; враховувати зміни зовнішнього середовища та використовувати об'єктивно сформовані тенденції розвитку ситуації в своїх інтересах. Разом з тим, в зазначеній роботі не дослідженим залишається питання описання складних та динамічних процесів.

В роботі [12] представлено метод аналізу великих масивів даних. Зазначений метод орієнтовано на пошук скритої інформації в великих масивах даних. Метод включає операції генерування аналітичних базових ліній, зменшення кількості змінних, виявлення розріджених ознак та наведення правил. До недоліків зазначеного методу належить неможливість врахування різних стратегій оцінювання рішень, відсутність врахування типу невизначеності вхідних даних.

В роботі [13] наведено механізм трансформації інформаційних моделей об'єктів будівництва до їх еквівалентних структурних моделей. Цей механізм призначений для автоматизації необхідних операцій з перетворення, модифікації та доповнення під час такого обміну інформацією. До недоліків зазначеного підходу слід віднести неможливість оцінити адекватність та достовірність процесу трансформації інформації, а також провести відповідну корекцію отриманих моделей.

В роботі [14] проведено розробку аналітичної web-платформи для дослідження географічного та часового розподілу інцидентів. Web-платформа, містить декілька інформаційних панелей зі статистично значущими результатами за територіями. До недоліків зазначеної аналітичної платформи належить неможливість оцінити адекватність та достовірність процесу трансформації інформації, а також високу обчислювальну складність. Також до недоліків зазначеного дослідження слід віднести не однонаправленість пошуку рішення.

В роботі [15] проведено розробку методу нечіткого ієрархічного оцінювання якості обслуговування бібліотек. Зазначений метод дозволяє провести оцінювання якості бібліотек за множиною вхідних параметрів. До недоліків зазначеного методу слід віднести неможливість оцінити адекватність та достовірність оцінки та відповідно визначити похибку оцінювання.

В роботі [16] проведено аналіз 30 алгоритмів обробки великих масивів даних. Показано їх переваги та недоліки. Встановлено, що аналіз великих масивів даних повинен проводитися пошарово, відбуватися в режимі реального часу та мати можливість до самонавчання. До недоліків зазначених методів слід віднести їх велику обчислювальну складність та неможливість провести перевірку адекватності отриманих оцінок.

В роботі [17] представлено підхід до оцінки вхідних даних для систем підтримки та прийняття рішень. Сутність запропонованого підходу полягає в класифікації базового набору вхідних даних, їх аналізу, після чого на підставі аналізу відбувається навчання системи. Недоліками зазначеного підходу є посту-

пове накопичення похибки оцінювання та навчання в зв'язку з відсутністю можливості оцінки адекватності прийнятих рішень.

В роботі [18] представлено підхід щодо обробки даних з різних джерел інформації. Зазначений підхід дозволяє проводити обробку даних з різних джерел. До недоліків зазначеного підходу слід віднести низьку точність отриманої оцінки та неможливість здійснити перевірку достовірності отриманої оцінки.

В роботі [19] проведено порівняльний аналіз існуючих технологій підтримки прийняття рішень, а саме: метод аналізу ієрархій, нейронні мережі, теорія нечітких множин, генетичні алгоритми і нейро-нечітке моделювання. Вказані переваги і недоліки даних підходів. Визначено сфери їх застосування. Показано, що метод аналізу ієрархій добре працює за умови повної початкової інформації, але в силу необхідності порівняння експертами альтернатив і вибору критеріїв оцінки має високу частку суб'єктивізму. Для задач прогнозування в умовах ризику і невизначеності обґрунтованим є використання теорії нечітких множин і нейронних мереж.

В роботі [20] розроблено метод структурно-цільового аналізу розвитку слабо структурованих систем: підхід до дослідження конфліктних ситуацій, що викликані протиріччями в інтересах суб'єктів, які впливають на розвиток досліджуваної системи і методи вирішення слабоструктурованих проблем на підставі формування сценаріїв розвитку ситуації. При цьому проблема визначається як невідповідність існуючого стану системи необхідному, яке задано суб'єктом управління. Разом з тим, до недоліків запропонованого методу слід віднести проблему локального оптимуму та неможливість проведення паралельного пошуку.

В роботі [21] представлено когнітивний підхід до імітаційного моделювання складних систем. Показано переваги зазначеного підходу, який дозволяє описати ієрархічні складі системи. До недоліків запропонованого підходу слід віднести однонаправленість пошуку рішень.

Проведення аналізу праць [9–21] показав що спільними недоліками вищезазначених досліджень є:

- відсутність багатонаправленого пошуку;
- висока ймовірність попадання в пастку локального оптимуму;
- відсутність механізмів корегування нечітких когнітивних моделей в ході оцінювання;
- відсутність механізмів глибокого навчання баз знань;
- відсутність врахування обчислювальних ресурсів, доступних в системі.

З цією метою пропонується провести розробку методу оцінки в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень на основі НЧКМ, ШНМ та ГА.

### **3. Мета і завдання дослідження**

Метою дослідження є розробка методу оцінки в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень, який б дозволив проводити аналіз стану об'єктів з заданою достовірністю при ресурсних обмеженнях.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- сформулювати концепцію представлення методу оцінки в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень;
- визначити алгоритм реалізації методу;
- навести приклад застосування запропонованого методу при аналізі оперативної обстановки угруповання військ (сил).

#### 4. Матеріали та методи досліджень

В ході проведеного дослідження використовувалися загальні положення теорії штучного інтелекту – для вирішення задачі аналізу стану об'єктів в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень. Тобто теорія штучного інтелекту є основою зазначеного дослідження. В дослідженні використано нечіткі когнітивні моделі, удосконалений генетичний алгоритм та штучні нейронні мережі, що еволюціонують. Моделювання проводилося з використанням програмного забезпечення MathCad 2014 (США) та ПЕОМ Intel Core i3 (США).

#### 5. Результати дослідження з розробки методу оцінки в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень

##### 5.1. Концепція представлення методу оцінки в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень

Систему управління процесом аналізу стану об'єктів можна представити у вигляді НЧКМ, що є знаковим орієнтованим графом, у якому вершинами видаються сутності, концепції, чинники, цілі та події, а дугами задається їх вплив один на одного. Вплив характеризується деякою граничною функцією, яка може визначатися різними способами. Загалом завдання визначення стану об'єкту моніторингу зводиться до розрахунків відповідно до формули:

$$A_i(k+1) = f \left( \left( A_i(k) + \sum_{j \neq i, j=1}^N A_j(k) W_{ij} \right) \times \iota_{ij} \right) \times \zeta_{ij}, \quad (1)$$

де  $A_i(k+1)$  – новий стан вершини НЧКМ;

$A_i(k)$  – попередній стан НЧКМ;

$w_{ij}$  – матриця ваги;

$f$  – порогова функція НЧКМ;

$\iota_{ij}$  – оператор, що враховує ступінь інформованості про стан об'єкту;

$\zeta_{ij}$  – оператор для врахування ступеню зашумленості даних про стан об'єкту.

Процес розрахунку є ітеративним – після завдання початкових станів вершин значення станів перераховуються до тих пір, поки різниця між поточними та попередніми станами не виявиться меншою за деяке задане значення.

З виразу (1) можна зробити висновок, що вираз дозволяє описати процеси в об'єкті моніторингу. Зазначений опис є універсальним та дозволяє описати об'єкт аналізу з урахуванням ієрархічності та індивідуальної специфіки кожного об'єкту моніторингу. При записі виразу (1) в формі багатовимірного часового ряду, процес опису можна привести для динамічної системи. Вираз (1) при

побудові математичного опису стану об'єкту моніторингу враховує ступінь інформованості про стан об'єкту та зашумленість даних. Також зазначений вираз (1) дозволяє описати процеси, що мають як кількісні так і якісні одиниці виміру, а також процеси що протікають на рис. 1.

## 5. 2. Алгоритм реалізації методу оцінки в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень

Метод оцінки в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень складається з такої послідовності дій (рис. 1). Хотілося б звернути увагу на те, що основні процедури запропонованого методу детально описані в роботі [22]. Відмінною рисою зазначеного методу від відомих є те, що на етапі б зазначеного методу використовується удосконалений авторами генетичний алгоритм, основні етапи реалізації якого подані на рис. 2. Ключова ідея удосконалення методу полягає в підвищенні оперативності пошуку архітектури НЧКМ за рахунок багатонаправленого пошуку особинами в популяції, врахування штрафу на розмір НЧКМ та обчислювальних ресурсів. Розглянемо їх більш детально.

Дія б. Корегування НЧКМ.

Дія б. 1. Введення вихідних даних. На даному етапі вводяться вихідні дані що наявні про об'єкт, що підлягає аналізу.

Дія б. 2. Оброблення вихідних даних з урахуванням невизначеності.

На даному етапі за відбувається врахування типу невизначеності про стан об'єкту аналізу та проводиться ініціалізація базової моделі стану об'єкту [22–25].

Дія б. 3. Визначення необхідних умов оптимізації: на даному етапі задається відповідна цільова функція цільова функція і обмеження.

Дія б. 4. Формування початкової популяції  $P^0$  із достатньою різноманітністю особин.

Проблеми початкового розміру та топологічних інновацій вирішуються обмеженням на кількість концептів НЧКМ. Для списку суміжності реалізовано операцію видалення концептів НЧКМ, а функція пристосованості, що накладає штраф на розмір НЧКМ, гарантує, що в ході еволюції кількість вузлів НЧКМ не буде строго зростаючим.

Дія б. 5. Перетворення генотипу на фенотип: декодування хромосом особин у множину вершин НЧКМ.

Дія б. 6. Оцінка пристосованості.

Для функції пристосованості  $F(x)$  простору пошуку  $X$  потрібно знайти таке значення аргументу  $x^*$ , при якому  $F(x)$  досягне свого найбільшого значення:

$$x^* = \arg \max_{x \in X} F(x). \quad (2)$$

Пристосованість  $F_i^t$  особини  $i$  в ітерацію  $t$ ,  $t \in [0, +\infty]$ , розраховується виходячи з оцінки роботи НЧКМ, штрафу на розмір НЧКМ, штрафу для подібних генотипів та тривалості існування особини в популяції.

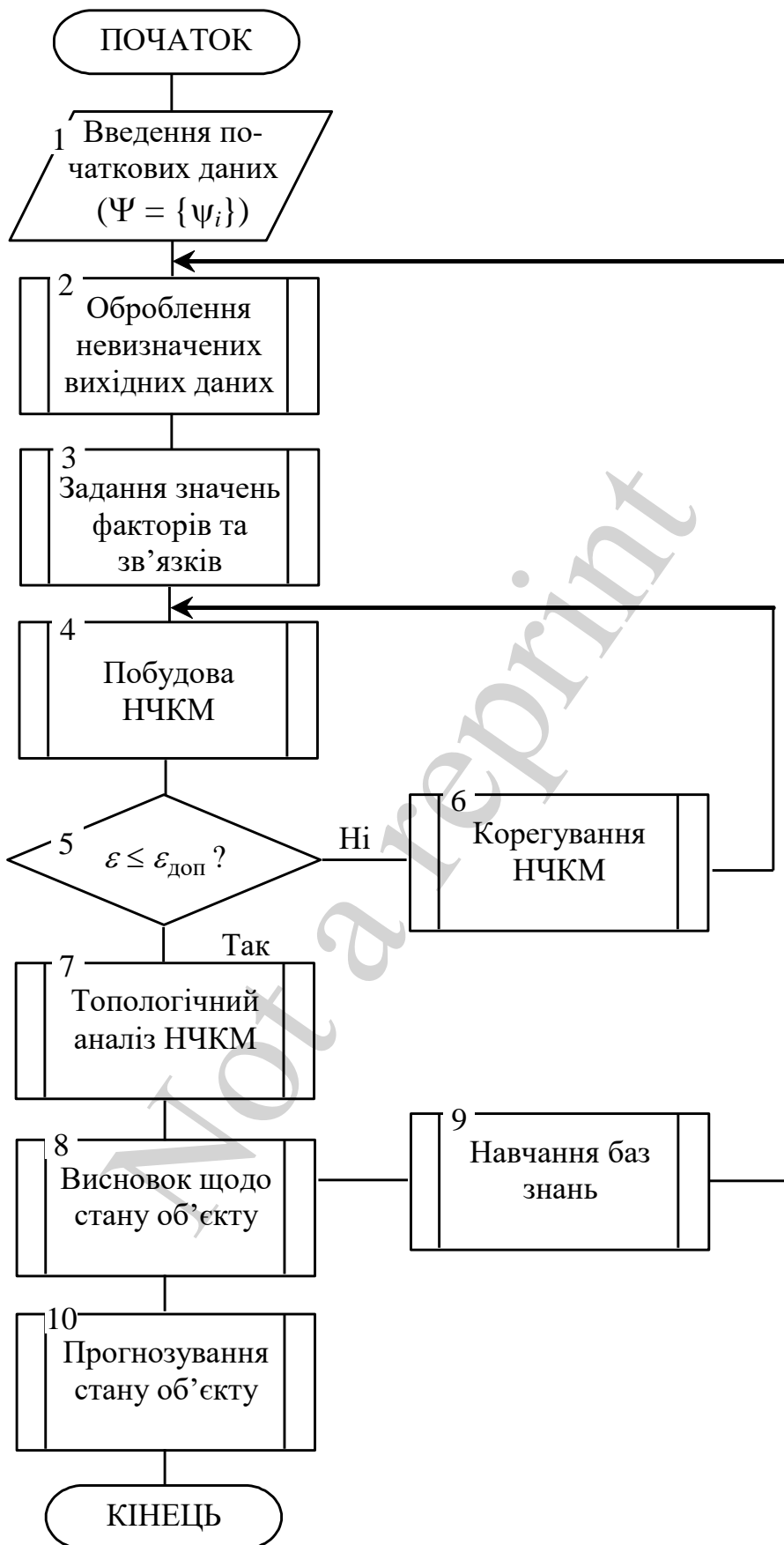


Рис. 1. Алгоритм реалізації методу аналізу стану об'єкту

Штраф на розмір НЧКМ  $\Phi_i^t$  обчислюється виходячи з кількості вершин НЧКМ та зв'язків між ними:

$$\Phi_i^t = N_i^t + \frac{M_i^t}{M_{\max}^t}, \quad (3)$$

де  $N_i^t$  – кількість вершин НЧКМ даної особини;  $M_i^t$  – кількість зв'язків між вершинами НЧКМ даної особини;  $M_{\max}^t$  – максимальна кількість зв'язків між вершинами НЧКМ.

Штраф для подібних генотипів  $\rho_i$  розраховується на підставі  $\rho_{\min}(i, j)$  мінімальної відстані між  $i$ -ю хромосомою та іншими хромосомами популяції:

$$\rho_i = \frac{\rho_{\min}(i, j)}{1 + \rho_{\min}(i, j)}. \quad (4)$$

Врахування  $\rho$ , необхідне для підтримки різноманітності популяції і запобігання передчасній збіжності. На значення пристосованості також впливає величина  $\kappa_i$ , що обернена тривалості періоду існування особини в популяції:

$$\kappa_i = \frac{1}{1 + T_i}, \quad (5)$$

де  $T_i$  – період еволюції кожної особини.

Додавання зі значенням пристосованості сприяє вирішенню проблеми захищеності інновацій за рахунок суттєвого зниження ризику видалення особини на початкових періодах існування. При цьому на наступних періодах  $\kappa_i$ , не суттєво впливає на пристосованість [26, 27].

З урахуванням обчислених даним способом середньоквадратичних помилок, значень штрафів та тривалості існування особи функція пристосованості  $F_i^t$  обчислюється за формулою:

$$\tilde{F}_i^t = \frac{\bar{\omega}_E(1 - E_i^t) + \bar{\omega}_V(1 - V_i^t)}{\Phi_i^t + \rho_i} + \kappa_i, \quad (6)$$

де  $\bar{\omega}_E$ ,  $\bar{\omega}_V$  – вагові коефіцієнти, що відображають відносну значимість середньоквадратичних похибок,

$$\bar{\omega}_E = \frac{1 - V_i^t}{2 - V_i^t - E_i^t}, \bar{\omega}_V = 1 - \bar{\omega}_E. \quad (7)$$



В реальних умовах, коли неможливо отримати повну та достовірну вихідну інформацію про стан об'єкту моніторингу для оцінки ефективності роботи НЧКМ доцільно використовувати поняття непрямой оцінки  $f_c$ . Непряму оцінку доцільно використовувати в умовах апріорної невизначеності та при вирішенні важко формалізованих завдань. При використанні непрямой функції оцінки функція пристосованості індивідів матиме вигляд:

$$\tilde{F}_i^t = \frac{f_c}{\Phi_i^t + \rho_i} + \kappa_i, \quad (8)$$

$f_c$  – функція оцінки ефективності роботи НЧКМ.

Для запобігання передчасній збіжності та ситуації, в якій середні та найкращі особини формують приблизно однакову кількість нащадків, значення  $\tilde{F}$  масштабується за формулою:

$$F = \left( \tilde{F} + \tilde{F}_{\text{avg}} - c\sigma \right)^9, \quad (9)$$

$\tilde{F}_{\text{avg}}$  – середня пристосованість популяції;  $c = \text{const} \in [1, 5]$ ;

$\sigma$  – середньоквадратичне відхилення пристосованості по популяції;  $9 \in [1, 1.5]$  – коефіцієнт що обирається з урахуванням завдань, що вирішуються.

Відсутність змін пристосованості кращої особи популяції свідчить про стагнацію пошуку.

Дія 6. 7. Перевірка умови завершення еволюції.

Незалежними один від одного умовами завершення можуть бути такі:

- по вичерпанню часу еволюції (або кількості звернень до функції оптимізації);
- для досягнення найкращої комбінації генів; після виходу функції пристосованості на “плато” – тобто за відсутністю її зміни протягом заданої кількості ітерацій.

Якщо виконано будь-яку з умов, то алгоритм завершує роботу. Інакше виконується наступний крок.

Дія 6. 8. Селекція.

Стратегію пошуку складають механізми селекції та рекомбінування. Це ймовірнісні процеси, що лежать в основі процесу нейроеволюції [28, 29]. Оператор відбору хромосом SL (selection) для нової популяції реалізовано імовірнісним методом у поєднанні з методом “еліт”: найбільш вдалі особини заносяться до пулу “хороших” рішень; інші особини відбираються для рекомбінування з ймовірністю  $P_{SL}$ :

$$P_{SL}(i) = \frac{F_i}{\sum_{j=1}^N F_j}, \quad (10)$$

де  $i, j$  – індекси особин.

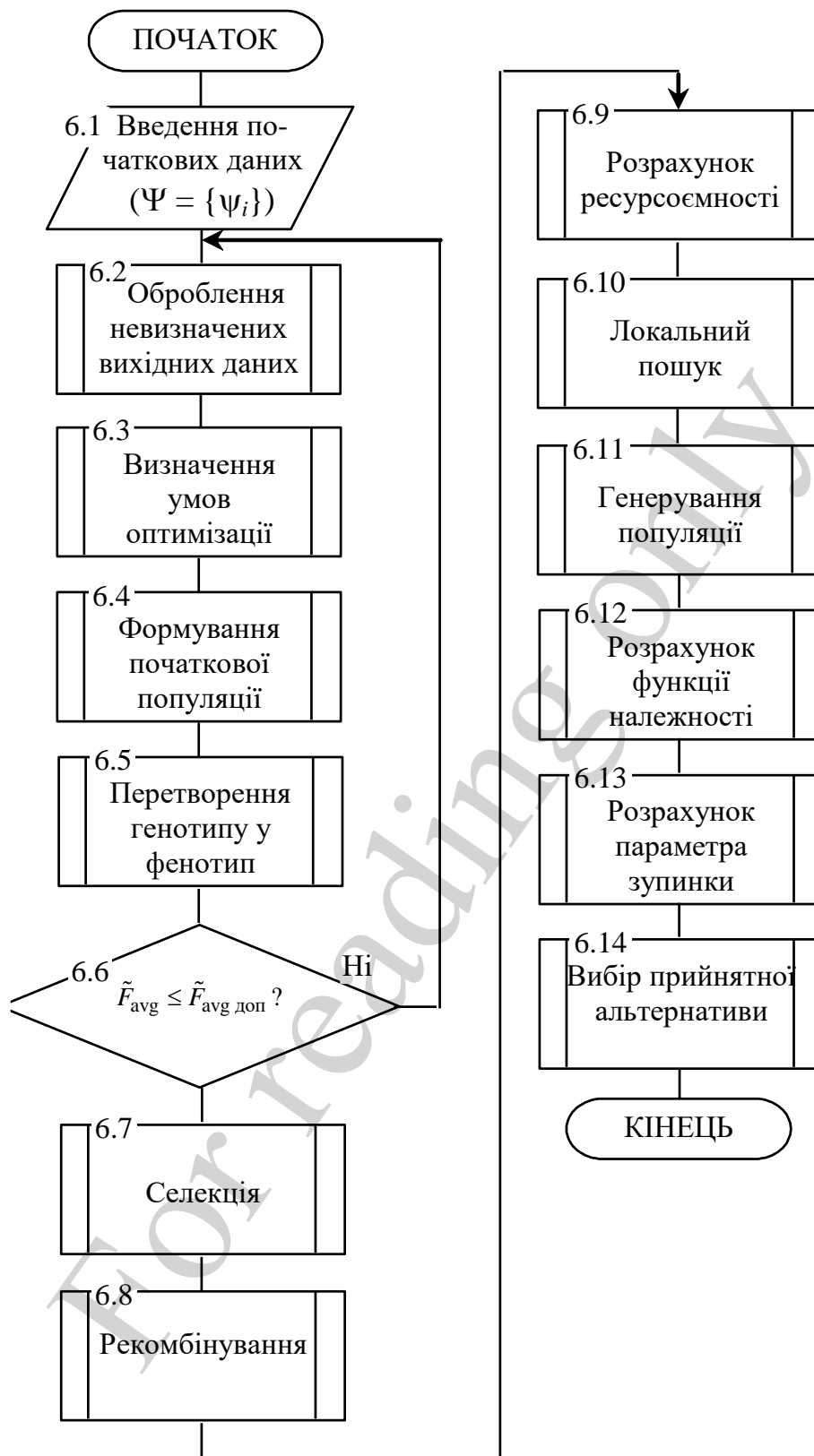


Рис. 2. Алгоритм процедури налаштування нечітких когнітивних моделей

Пул “хороших” рішень необхідний для підтримки різноманітності популяції та запобігання швидкій збіжності алгоритму до неоптимального рішення

(локальному оптимуму). Хромосома для фенотипу  $\rho^*$  зберігається в пулі при виконанні умови

$$(\forall \rho \in P) (\rho(\rho, \rho^*) = \rho_{\max}) \cap (F(\rho^*) = F_{\max}), \quad (11)$$

$\rho_{\max}$  – максимальна відстань між особинами в популяції за ітерацію налаштування;  $F_{\max}$  – максимальна пристосованість особин в популяції за ітерацію налаштування.

Дія 6. 9. Рекомбінуння.

Рекомбінуння – застосування генетичних операторів кросинговеру та мутації до відібраних на попередньому кроці особин. Кросинговер – генетичний оператор, що впливає на розмір популяції. У даній реалізації нейроеволюції запропоновано двоетапний багатоточковий кросинговер CR (crossingover) [4].

Перший етап кросинговеру полягає у визначенні кількості  $D$  і координат  $d_k$ ,  $k \in [1, D]$  точок перетину з наступним схрещуванням вихідних генотипів за заданими точками. У загальному випадку для точок результатом схрещування особин  $\rho_i^t = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$ ,  $\rho_i^t = \{b_1, b_2, \dots, b_n\} \in P^t$  ітерації  $t \in$  два генотипи ітерації  $t+1$ :

$$\begin{aligned} \rho_i^{t+1} &= \{\alpha_1, \dots, \alpha_{d_1}, b_{d_1+1}, \dots, b_{d_2}, \alpha_{d_2+1}, \dots, \alpha_{d_D}, \dots\}, \\ \rho_i^{t+1} &= \{b_1, \dots, b_{d_1}, \alpha_{d_1+1}, \dots, \alpha_{d_2}, b_{d_2+1}, \dots, b_{d_D}, \dots\} \in P^{t+1}, \end{aligned} \quad (12)$$

$d_k$ ,  $k \in [1, D]$  – точки перетину генотипів;

$D$  – кількість точок перетину.

Кількість точок перетину визначається як випадкове число на відрізку  $[1, \min\{N_1, N_2\}]$ ,  $N_1$  і  $N_2$  – відповідно кількість вершин НЧКМ у першому та другому генотипі, відібраних для кросинговеру. Точки  $d_k$  обираються у відповідності до умови:

$$d_k = j : (IN_1(j) = IN_2(j)) \cup (OUT_1(j) = OUT_2(j)), \quad (13)$$

$j$  – індекс, що позиціонує вершину НЧКМ в першому та другому генотипі;

$(IN_1(j), IN_2(j), OUT_1(j), OUT_2(j))$  – відповідні значення параметрів  $IN$  та  $OUT$  для  $j$ -ї вершини в даних генотипах.

У випадку, якщо індексів з рівними значеннями параметрів декілька, вибираються індекси з найближчими значеннями. Таким чином, індексація нейронів у генотипі в сукупності з використанням параметрів  $IN$  та  $OUT$  знижує ризик конкуренції представлень та запобігає схрещування ділянок генотипів, що несуть різне функціональне навантаження.

Другий етап кросинговеру полягає у видаленні та перерозподілі зв'язків, співвіднесених з відсутніми в новій зміні конфігурації НЧКМ. Етап необхідний для гарантії життєздатності нових особин.

Мутація МТ (mutation) – генетичний оператор, у цій процедурі реалізований у восьми модифікаціях. Можливість застосування мутації для окремого гена  $P_{MT}$  в ітерацію  $t$  розраховується за формулою:

$$P_{MT}(g_i) = \frac{\alpha e^{-\frac{\beta t}{2}}}{L N}, \quad (14)$$

$\alpha, \beta = \text{const}$ ;  $L$  – довжина хромосоми;  $N$  – розмір популяції.

Вибір формули цього виду обумовлений тим, що для ефективної еволюції імовірність мутації має бути обернено залежна від розміру популяції. У цьому можливість мутації з часом знижується.

Однією з основних цілей застосування оператора мутації є підтримка різноманітності особин, але у маленьких популяціях часті мутації негативно позначаються на сходженні до оптимуму. Хромосоми великої довжини забезпечують варіативність популяції, тому значення  $P_{MT}$  тим вища, що менше параметрів містить хромосома. Параметри  $\alpha, \beta$  формули вибираються до початку еволюції та необхідні для тонкого налаштування процесу мутації.

Особливості модифікацій оператора та ймовірності застосування кожної з модифікацій представлені у табл. 1. Індесування вузлів у генотипі запобігає ризику видалення з популяції нових елементів. При виконанні умови  $i = i_{\max}$ , де  $i$  – індекс даного вузла,  $i_{\max}$  – індекс останнього доданого до генотипу вузла, ймовірність використання операторів видалення дорівнює нулю. Введення цієї умови дозволяє вирішити проблему незахищеності інновацій. Імовірнісні коефіцієнти, на які множиться ймовірність для кожної модифікації оператора, є фіксованими та обрані виходячи з вимоги частішої зміни існуючих параметрів, ніж додавання нових або видалення раніше налаштованих елементів.

Таблиця 1  
Опис процедури мутації

Позначення	Опис	Ймовірність виконання
$MT_{s\_ADD}$	Послідовне додавання зв'язку в НЧКМ	$P_{s\_ADD} = 0.1 P_{MT}(g_i)$
$MT_{p\_ADD}$	Паралельне додавання зв'язку в НЧКМ	$P_{p\_ADD} = 0.1 P_{MT}(g_i)$
$MT_{DEL}$	Видалення зв'язку в НЧКМ	$P_{DEL} = \begin{cases} 0, & i = i_{\max} \\ 0.1 P_{MT}(g_i), & i \neq i_{\max} \end{cases}$
$MT_{L\_ADD}$	Додавання внутрішнього зв'язку в середині НЧКМ	$P_{L\_ADD} = 0.1 P_{MT}(g_i)$
$MT_{L\_DEL}$	Видалення внутрішнього зв'язку в середині НЧКМ	$P_{L\_DEL} = \begin{cases} 0, & i = i_{\max} \\ 0.1 P_{MT}(g_i), & i \neq i_{\max} \end{cases}$
$MT_{I\_ADD}$	Додавання входу, відповідно параметру із пула	$P_{I\_ADD} = 0.05 P_{MT}(g_i)$
$MT_{I\_DEL}$	Видалення входу, відповідно параметру із пула	$P_{I\_DEL} = \begin{cases} 0, & i = i_{\max} \\ 0.05 P_{MT}(g_i), & i \neq i_{\max} \end{cases}$

Описані оператори селекції та рекомбінування в сукупності з функцією пристосованості та пулом “хороших” особин призначені для самоадаптації алгоритму до рівня складності задачі.

Дія 6. 10. Розрахунок ресурсоемності отриманих значень і перевірка умов на неперевищення  $res_{доп}$  для кожної особини в початковій популяції:

$$res_i = f(U_{eff}), \quad (15)$$

де  $U_{eff}$  – ключові показники ефективності.

Дія 6. 11. Локальний пошук. Цей етап оптимізації особин популяції, наділяє алгоритм властивостями меметичності та обґрунтовує використання прямого методу кодування хромосом. Етап реалізований за допомогою алгоритму локального пошуку.

Дія 6. 12. Генерування популяції  $P^{t+1}$  та перехід на нову ітерацію еволюції  $t+1$ :

$$P^{t+1} = MT\left(CR\left((SL)(P^t, F^t)\right)\right). \quad (16)$$

Етап локального пошуку складається з наступних кроків: еволюційна доналаштування особин популяції, на попередньому кроці перетворених на фенотипи; перерахунок функцій пристосованості; повернення до попередніх значень параметрів у разі зниження пристосованості.

Перевагами еволюційного доналаштування параметрів НЧКМ є такі:

- незалежність від топології НЧКМ;
- можливість визначення, чи показує дана особина низьку пристосованість через невдало сформовану топологію або неправильно підібраних ваг;
- вибіркова оптимізація параметрів нещодавно змінених або доданих зв'язків в НЧКМ без зміни вже модифікованої на попередні ітераціях роботи алгоритму структури.

Дія 6. 13. Розрахунок функції належності рівня досягнення цілі  $\Lambda_{ij}^{targ}$ , що полягає в реалізації ітераційної процедури перерахунку цільових показників на основі розробленої нечіткої когнітивної моделі:

$$\Lambda_{ij}^{targ} = f(U_{eff}), \quad j = \overline{1, k}. \quad (17)$$

Дія 6. 14. Розрахунок параметра зупинки алгоритму на основі мінімального відхилення рівня досягнення цілі щодо необхідного значення:

$$\Delta\Lambda_{ij}^{targ} = \Lambda_{ij}^{targ} - \Lambda_{інеоб}^{targ},$$

$$\Delta\Lambda = \min_i \min_j \Delta\Lambda_{ij}^{targ}. \quad (18)$$

Дія 6. 15. Вибір прийнятної альтернативи. Прийнятною альтернативою вважається та, у якій узагальнена корисність є найбільшою.

Кінець алгоритму.

Процедури 1–5, 7–10 запропонованого методу детально описані в роботі [23].

### **5. 3. Приклад застосування запропонованого методу при аналізі оперативної обстановки угруповання військ (сил)**

Проведено моделювання роботи методу пошуку рішень відповідно до алгоритму на рис. 2 та виразів (1)–(18). Проведено моделювання роботи запропонованої методу оцінки в програмному середовищі MathCad 14 (США). В якості задачі, що вирішувалася при проведенні моделювання, була оцінка елементів оперативної обстановки угруповання військ (сил).

Вихідні дані для оцінки стану оперативної обстановки з використанням запропонованого методу:

- кількість джерел інформації, про стан об'єкту моніторингу – 3 (засоби радіомоніторингу, засоби дистанційного зондування землі та безпілотні літальні апарати). Для спрощення моделювання було взято однакову кількість кожного засобу – по 4 засоби;

- кількість інформаційних ознак по яким відбувається визначення стану об'єкту моніторингу – 12. До таких параметрів відносяться: належність, тип організаційно-штатного формування, пріоритетність, мінімальна ширина по фронту, максимальна ширина по фронту. Також враховується кількість особового складу, мінімальна глибина по флангу, максимальна глибина по флангу, загальна чисельність особового складу, кількість зразків ОВТ, кількість типів зразків ОВТ та кількість засобів зв'язку);

- варіанти організаційно-штатних формувань – рота, батальйон, бригада.

Позначимо, які параметри для кожного типу операторів розглядалися. Метод був апробована при пропорційній селекції (обсяг 18 %); рекомбінації: середня. Щоб визначити найбільш ефективну комбінацію налаштувань для кожної окремої розглянутої схеми необхідно всі інші параметри пошуку залишити однаковими. Обсяг популяції був обраний рівним 50, число популяцій – 50. Значені дані взяті відповідно до орієнтовної чисельності командних пунктів оперативно-тактичного угруповання військ (сил). Порівняння алгоритмів здійснюється за критерієм придатності отриманих рішень. Число незалежних запусків у експериментах – 100. Швидкість оцінювалася як середнє покоління, на якому алгоритм знаходить глобальний оптимум.

Порівнювалися кілька різних оптимізаційних алгоритмів вирішення поставленої екстремальної задачі (15). Серед них: класичний бінарний генетичний алгоритм; дійсний генетичний алгоритм; запропонований метод та генетичний алгоритм з алгоритмом налаштування Population-Level Dynamic Probabilities (PDP). При цьому кількість обчислень цільової функції для роботи генетичних алгоритмів було вибрано рівним числу вимірювань цільової функції, в циклах яких використовувалося локальне поліпшення [24].

В табл. 2 наведені результати порівняння для запропонованого методу та відомих при пошуку в одному напрямку, пошуку в двох напрямках та пошуку в трьох напрямках.

Таблиця 2

Оцінка ймовірності знаходження рішення, яке близьке до істинного для різних алгоритмів знаходження рішень

Ітерація	Запропонований метод	Класичний бінарний генетичний алгоритм	Дійсний генетичний алгоритм	Генетичний алгоритм з алгоритмом налаштування PDP
Середня придатність при груповому пошуку в одному напрямку				
1	0,959344	0,66	0,79	0,79
2	0,957950	0,678	0,82	0,8
3	0,957798	0,69	0,823	0,825
4	0,945785	0,713	0,83	0,83
5	0,956173	0,728	0,836	0,839
6	0,964235	0,735	0,84	0,843
7	0,978653	0,746	0,845	0,858
8	0,983865	0,754	0,849	0,869
9	0,992892	0,763	0,853	0,873
10	1,000000	0,78	0,89	0,89
Середня придатність при груповому пошуку в двох напрямках				
1	0,93	0,58	0,7	0,71
2	0,9359	0,63	0,7165	0,72
3	0,9401	0,66	0,7288	0,729
4	0,94397	0,689	0,73	0,738
5	0,946	0,7	0,735	0,74
6	0,951	0,71	0,75	0,755
7	0,9533	0,723	0,764	0,758
8	0,962	0,7287	0,78	0,776
9	0,9803	0,74	0,793	0,79
10	0,987	0,752	0,8	0,81
Середня придатність при груповому пошуку в трьох напрямках				
1	0,85	0,5	0,61	0,68
2	0,854	0,51	0,6168	0,69
3	0,859	0,516	0,62	0,7
4	0,86	0,52	0,623	0,706
5	0,862	0,531	0,628	0,711
6	0,869	0,535	0,63	0,702
7	0,87	0,539	0,64	0,71
8	0,874	0,54	0,647	0,713
9	0,88	0,546	0,649	0,716
10	0,888	0,549	0,65	0,72

За результати аналізу даних, що наведені в табл. 2, видно, що при збільшенні кількості напрямків пошуку, знижується придатність рішення, що отримуються генетичними алгоритмами. При збільшенні кількості напрямків пошуку рішення настає момент, коли отримані рішення не задовольнятимуть вимогам щодо достовірності. Запропонований метод дозволяє отримувати адекватні рішення при багатонаправлених пошуках. Ефективність запропонованого методу дуже суттєво проявляється при багатонаправлених пошуках рішень в середньому складає від 16 до 24 %.

## **6. Обговорення результатів з розробки методу оцінки**

Переваги запропонованого методу обумовлені наступним:

- при корегуванні нечіткої когнітивної моделі враховується тип невизначеності (дія 6. 2 на рис. 2, (1) та (8));
- врахуванням пристосованості особин та популяції в цілому ((2), (9));
- оперативністю прийняття рішень за рахунок використання штрафів на розмір НЧКМ та тривалості існування особин та популяції в цілому ((4)–(6));
- врахуванням ступеню зашумленості даних (1);
- універсальністю вирішення завдання аналізу стану об'єкту моніторингу за рахунок ієрархічності опису об'єкту (1);
- можливістю швидкої побудови нечіткої когнітивної темпоральної моделі за рахунок одночасного пошуку рішення декількома особинами – (1)–(8);
- адекватністю отриманих результатів ((15)–(17));
- врахуванням ресурсоемності отриманих значень оцінки (15);
- здатністю уникнення проблеми локального екстремуму – (2)–(18).

Основними перевагами запропонованого методу оцінки є:

- має гнучку ієрархічну структуру показників, що дозволяє звести завдання багатокритеріального оцінювання альтернатив до одного критерію або використовувати для вибору вектор показників;
- однозначність отриманої оцінки стану об'єкту;
- універсальність застосування за рахунок адаптації системи показників в ході роботи;
- не накопичує похибку навчання за рахунок використання процедури навчання;
- можливість комплексного навчання архітектури та параметрів штучних нейронних мереж;
- врахування типу невизначеності та зашумленості вихідних даних при побудові нечіткої когнітивної моделі;
- можливість пошуку рішення за декількома напрямками особинами в популяції;
- висока достовірність отриманих рішень при пошуку рішення у декількох напрямках;
- відсутність попадання в пастку локального оптимуму.

Обмеженнями дослідження є необхідність наявності початкової бази даних про стан об'єкту моніторингу, необхідність врахування часу затримки на збір та доведення інформації від джерел розвідувальних відомостей.



До недоліків запропонованого методу слід віднести:

- втрату інформативності при оцінюванні стану об'єкту моніторингу за рахунок побудови функції належності;
- меншу точність оцінювання по окремо взятому параметру оцінки стану об'єкту;
- втрату достовірності отриманих рішень при пошуку рішення в декількох напрямках одночасно;
- меншу точність оцінювання порівняно з іншими методами оцінки.

Зазначений метод дозволить:

- провести оцінку стану об'єкта;
- визначити ефективні заходи для підвищення ефективності управління;
- підвищити швидкість оцінки стану об'єкта;
- зменшити використання обчислювальних ресурсів систем підтримки прийняття рішень.

Запропонований підхід доцільно використовувати для вирішення задач оцінки складних та динамічних процесів, що характеризуються високим ступенем складності.

Зазначене дослідження є подальшим розвитком досліджень, що спрямовані на розробку методологічних засад підвищення ефективності інформаційно-аналітичного забезпечення, що опубліковані вже раніше [2, 4–6, 23].

Напрями подальших досліджень слід спрямувати на зменшення обчислювальних витрат при обробці різнотипних даних в системах спеціального призначення.

## **7. Висновки**

1. Проведено формалізований опис задачі аналізу стану об'єктів в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень. Зазначена формалізація дозволяє описати процеси, що реалізуються в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень під час вирішення завдань аналізу стану об'єктів. В якості критерію ефективності зазначеного методу обрано оперативність процесу аналізу стану об'єкту. В ході дослідження сформульована концепція представлення методу оцінки в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень. В зазначеній концепції процес аналізу представлено у вигляді багатовимірною часового ряду. Це дозволяє створити ієрархічний опис складного процесу за рівнями узагальнення та провести відповідний аналіз його стану.

2. Визначено алгоритм реалізації методу, що дозволяє:

- врахувати тип невизначеності та зашумленості даних;
- провести при корегуванні нечітких когнітивних моделей за допомогою генетичного алгоритму;
- провести навчання баз знань, що здійснюється шляхом навчання синаптичних ваг штучної нейронної мережі, типу та параметрів функції належності, а також архітектури окремих елементів і архітектури штучної нейронної мережі в цілому;
- врахувати пристосованість особин та популяції в цілому;

- підвищити оперативність прийняття рішень за рахунок використання штрафів на розмір НЧКМ та тривалості існування особин та популяції в цілому;
- застосовувати як універсальний інструмент вирішення завдання аналізу стану об'єкту моніторингу за рахунок ієрархічності опису об'єкту;
- перевірити адекватність отриманих результатів;
- врахувати ресурсоємність отриманих значень оцінки;
- уникнути проблеми локального екстремуму.

3. Поданий ілюстративний приклад використання запропонованого методу на прикладі оцінки стану оперативної обстановки угруповання військ (сил). Зазначений приклад показав підвищення ефективності оперативності обробки даних на рівні 16–24 % за рахунок використання додаткових удосконалених процедур.

### **Подяки**

Авторський колектив висловлює подяку за надання допомоги в підготовці статті:

- доктору технічних наук, професору Кувшинову Олексію Вікторовичу – заступнику начальника навчально-наукового інституту Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського;
- доктору технічних наук, професору Ротштейну Олександрю Петровичу – професору Ієрусалимського політехнічного інституту Махон Лев;
- кандидату технічних наук, доценту Башкирову Олександрю Миколайовичу – провідному науковому співробітнику Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України.

### **Література**

1. Башкиров, О. М., Костина, О. М., Шишацький, А. В. (2015). Розвиток інтегрованих систем зв'язку та передачі даних для потреб Збройних Сил. Озброєння та військова техніка, 1, 35–39. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt\\_2015\\_1\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2015_1_7)
2. Dudnyk, V., Sinenko, Y., Matsyk, M., Demchenko, Y., Zhyvotovskiy, R., Repilo, I. et. al. (2020). Development of a method for training artificial neural networks for intelligent decision support systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (2 (105)), 37–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.203301>
3. Sova, O., Shyshatskiy, A., Salnikova, O., Zhuk, O., Trotsko, O., Hrokholskiy, Y. (2021). Development of a method for assessment and forecasting of the radio electronic environment. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 30–40. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001940>
4. Pievtsov, H., Turinskiy, O., Zhyvotovskiy, R., Sova, O., Zvieriev, O., Lanetskii, B., Shyshatskiy, A. (2020). Development of an advanced method of finding solutions for neuro-fuzzy expert systems of analysis of the radioelectronic situation. EUREKA: Physics and Engineering, 4, 78–89. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001353>
5. Zuiev, P., Zhyvotovskiy, R., Zvieriev, O., Hatsenko, S., Kuprii, V., Nakonechnyi, O. et. al. (2020). Development of complex methodology of processing heterogeneous data in intelligent decision support systems. Eastern-European Journal

of Enterprise Technologies, 4 (9 (106)), 14–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.208554>

6. Shyshatskyi, A., Zvieriev, O., Salnikova, O., Demchenko, Y., Trotsko, O., Neroznak, Y. (2020). Complex Methods of Processing Different Data in Intellectual Systems for Decision Support System. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9 (4), 5583–5590. doi: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/206942020>

7. Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S., Peredrii, O., Voloshchenko, O. et. al. (2021). The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 11 (5), 37–44. doi: [https://doi.org/10.46338/ijetae0521\\_05](https://doi.org/10.46338/ijetae0521_05)

8. Ротштейн, А. П. (1999). Интеллектуальные технологии идентификации: нечёткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница: “УНИВЕРСУМ”, 320. URL: [http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Rotshtejn\\_1999\\_320.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Rotshtejn_1999_320.pdf)

9. Алпеева, Е. А., Волкова, И. И. (2019). Использование нечетких когнитивных карт при разработке экспериментальной модели автоматизации производственного учета материальных потоков. *Экономика промышленности*, 12 (1), 97–106. doi: <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2019-1-97-106>

10. Заграновская, А. В., Эйснер, Ю. Н. (2017). Моделирование сценариев развития экономической ситуации на основе нечетких когнитивных карт. *Современная экономика: проблемы и решения*, 10 (94), 33–47. doi: <https://doi.org/10.17308/meps.2017.10/1754>

11. Симанков, В. С., Путято, М. М. (2013). Исследование методов когнитивного анализа. *Перспективы развития информационных технологий*, 13, 31–35. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20892185>

12. Ko, Y.-C., Fujita, H. (2019). An evidential analytics for buried information in big data samples: Case study of semiconductor manufacturing. *Information Sciences*, 486, 190–203. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.01.079>

13. Ramaji, I. J., Memari, A. M. (2018). Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models. *Automation in Construction*, 90, 117–133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>

14. Pérez-González, C. J., Colebrook, M., Roda-García, J. L., Rosa-Remedios, C. B. (2019). Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management. *Expert Systems with Applications*, 120, 167–184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.11.023>

15. Chen, H. (2018). Evaluation of Personalized Service Level for Library Information Management Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Procedia Computer Science*, 131, 952–958. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.233>

16. Chan, H. K., Sun, X., Chung, S.-H. (2019). When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process? *Decision Support Systems*, 125, 113114. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.113114>

17. Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 91, 620–633. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
18. Gödri, I., Kardos, C., Pfeiffer, A., Váncza, J. (2019). Data analytics-based decision support workflow for high-mix low-volume production systems. *CIRP Annals*, 68 (1), 471–474. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.001>
19. Harding, J. L. (2013). Data quality in the integration and analysis of data from multiple sources: some research challenges. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-2/W1, 59–63. doi: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w1-59-2013>
20. Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24 (1), 65–75. doi: [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(86)80040-2)
21. Горелова, Г. В. (2013). Когнитивный подход к имитационному моделированию сложных систем. *Известия ЮФУ. Технические науки*, 3, 239–250. URL: <http://old.izv-tn.tti.sfedu.ru/wp-content/uploads/2013/3/32.pdf>
22. Koshlan, A., Salnikova, O., Chekhovska, M., Zhyvotovskiy, R., Prokopenko, Y., Hurskiy, T. et. al. (2019). Development of an algorithm for complex processing of geospatial data in the special-purpose geoinformation system in conditions of diversity and uncertainty of data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (101)), 35–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.180197>
23. Mahdi, Q. A., Shyshatskiy, A., Prokopenko, Y., Ivakhnenko, T., Kupriyenko, D., Golian, V. et. al. (2021). Development of estimation and forecasting method in intelligent decision support systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (111)), 51–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.232718>
24. Емельянов, В. В., Курейчик, В. В., Курейчик, В. М., Емельянов, В. В. (2003). *Теория и практика эволюционного моделирования*. М.: Физматлит, 432.
25. Гороховатський, В., Стяглик, Н., Царевська, В. (2021). Комбінаційний метод прискороного метричного пошуку даних у задачах класифікації зображень. *Сучасні інформаційні системи*, 5 (3), 5–12. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.3.01>
26. Левашенко, В. Г., Ляшенко, А. С., Кучук, Г. А. (2020). Построение системы поддержки принятия решений на основе нечетких данных. *Сучасні інформаційні системи*, 4 (4), 48–56. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.4.07>
27. Meleshko, Y., Drieiev, O., Drieieva, H. (2020). Method of identification bot profiles based on neural networks in recommendation systems. *Advanced Information Systems*, 4 (2), 24–28. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.2.05>
28. Кучук, Н. Г., Мерлак, В. Ю., Скороделов, В. В. (2020). Метод зменшення часу доступу до слабкоструктурованих даних. *Сучасні інформаційні системи*, 4 (1), 97–102. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
29. Shyshatskiy, A., Tiurnikov, M., Suhak, S., Bondar, O., Melnyk, A., Bokhno, T., Lyashenko, A. (2020). Method of assessment of the efficiency of the communication of operational troop grouping system. *Advanced Information Systems*, 4 (1), 107–112. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.16>